

STATIONEN MECHANISCHER SPRACHSYNTHESE VOM 18. BIS ZUM 20. JAHRHUNDERT

Fabian Brackhane¹ & Jürgen Trouvain²

¹*Institut für Deutsche Sprache, Mannheim*

²*Computerlinguistik und Phonetik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
brackhane@ids-mannheim.de*

Abstract: Der vorliegende Aufsatz widmet sich einigen markanten historischen Einzelleistungen auf dem Gebiet der mechanischen Sprachsynthese, die auch heute noch faszinierend, jedoch zumeist nur in groben Zügen bekannt sind. An der hier präsentierten Auswahl erweist sich sowohl die fesselnde Kraft eines einmal als grundsätzlich praktikabel erkannten Konzeptes der stimmlichen Anregung als auch die hieraus resultierende Originalität immer neuer Ansätze, diesem Syntheseprinzip zum technologischen Durchbruch zu verhelfen.

1 Einführung

Die Idee der künstlichen Erzeugung von Sprachschall scheint so alt wie die Menschheit zu sein (vgl. [1]). Bereits aus der Antike sind vom Orakel auf Lesbos ebenso wie auch einige Jahrhunderte später von Albertus Magnus (um 1200-1280) Berichte von „Sprechenden Köpfen“ überliefert. Deren „Sprechfähigkeit“ bestand allerdings zumeist aus einem von rückwärts in ihre Mundöffnung geleiteten Rohr, an dessen anderem Ende sich ein zutiefst menschlicher Sprecher befand.

Als man sich Mitte des 18. Jahrhunderts in der Lage sah, aufgrund recht verlässlicher anatomischer und physiologischer Erkenntnisse erstmals eine künstliche Nachbildung des menschlichen Sprechapparates zu versuchen, war die interessierte Öffentlichkeit offenbar durch eine Vielzahl mehr oder weniger plumper falscher Sprechmaschinen so enerviert, dass ausgerechnet der zutiefst seriöse Ansatz Wolfgang von Kempelens vielfach auf höhnische Ablehnung stieß (vgl. [2]).

Auch im 19. Jahrhundert behielt das Thema seine Aktualität. Wissenschaftliche Größen wie Hermann von Helmholtz (1821-1894) oder Alexander Graham Bell (1847-1922) befassten sich intensiv mit der Erforschung von Synthese-Möglichkeiten. Aber auch aus den tradierten Ideen der vergangenen Jahrhunderte wurden vielversprechende, wenn auch konventionelle Sprachsynthesekonzepte entwickelt.

Helmholtz war zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch die aufkommende Elektrizität in der Lage, gänzlich neue Konzepte insbesondere zur Vokalsynthese zu entwickeln [3], wiewohl auch weiterhin neue, rein mechanische Ansätze erprobt wurden. So von Richard Paget (1869-1955) [4] und Dayton Clarence Miller (1866-1941) [5].

Epochenübergreifend sah man in den Vokalen das Wesentliche einer Sprache und dementsprechend in deren Synthese die zentrale Herausforderung. Den Konsonanten als „Beiwerk“ maß man hinsichtlich des Syntheseaufwandes wenig Bedeutung bei [1: 203]. So ist zu erklären, warum es vor und neben „vollwertigen“ Sprachsynthesekonzepten auch eine Vielzahl von Versuchen zur Vokalsynthese gab, jedoch keine separaten Konsonantensynthesen. Aus der Menge der historischen Versuche seien an dieser Stelle nur einige Schlaglichter herausgegriffen, um die Entwicklung der mechanischen Sprachsynthese seit dem 18. Jahrhundert nachzuzeichnen.

2 Vokalsynthese

2.1 Die „Vox humana“

Schon früh sahen Forscher in dem ebenso verbreiteten wie hoch komplexen Musikinstrument Orgel eine Art Prototyp der Sprachsynthese. So entwickelt beispielsweise Leonhard Euler (1707-1783) die Idee einer orgelähnlichen Sprechmaschine, auf der Reden gleich einem musikalischen Stück gespielt werden könnten [6].

Die Geschichte der mechanischen Sprachsynthese ist hierbei untrennbar mit der eines speziellen Orgelregisters verknüpft: Bei der „Vox humana“ handelt es sich um eine Bauform der *Lingualpfeifen*, bei denen die strömende Luft durch ein schwingendes Metallblatt (*Zunge* genannt) ähnlich dem Rohrblatt einer Klarinette angeregt wird. Der so entstehende Ton wird durch angefügte Resonatoren gefiltert und verstärkt, wobei Dimensionen und Form des Resonators entscheidenden Einfluss auf die Klangfarbe haben. Über die Namensetymologie des Registers besteht bis heute keine abschließende Einigkeit, es ist jedoch auszuschließen, dass beabsichtigt war, die menschliche Stimme authentisch nachzuahmen. Eher scheint es sich um eine funktionelle Stellvertreteraufgabe gehandelt zu haben. Das Wissen hierüber war aber spätestens im 18. Jahrhundert verloren und der Anspruch, dem Register zu einem seinem Namen entsprechenden Klang zu verhelfen, allgegenwärtig [7: 166-167].

Dies wirkte sich auch auf die Konzeption nahezu aller zu dieser Zeit entstandenen Sprachsyntheseveruche aus, von denen hier drei besonders hervorgehoben seien: Die „Vokalorgel“ Christian Gottlieb Kratzensteins (1780), die „Sprechenden Köpfe“ des Abbé Mical (vor 1783) und die „Sprechmaschine“ Wolfgang von Kempelens (1783/91).

2.2 Christian Gottlieb Kratzenstein

Der Naturwissenschaftler Kratzenstein (1723-1795) war über die St. Petersburger Akademie der Wissenschaften mit Euler verbunden. Als diese 1780 in einer Preisfrage nach der Natur und Synthetisierbarkeit von A, E, I, O, U durch eine aus der „Vox humana“ abgeleitete Konstruktion fragte, reichte Kratzenstein bereits im darauffolgenden Jahr ein Traktat und den Prototyp einer „Vokalorgel“ ein. Angesichts der engen Orientierung der Preisfrage an den Ideen Eulers und der überraschend kurzen Bearbeitungszeit, die Kratzenstein scheinbar für die Bearbeitung beider Fragen benötigte, darf eine Konzeption des Wettbewerbes „ad personam“ als wahrscheinlich gelten.

Kratzenstein gelangte in seinen Ausführungen [8] zu der (falschen) Überzeugung, dass die Anregung des die Lunge verlassenden Luftstromes durch den Kehldeckel geschehe, der frei und waagrecht in der Luftröhre schwinde¹. Basierend auf dieser Annahme entwickelte Kratzenstein je eine Orgelpfeife für jeden der fünf Vokale. Mit Ausnahme derjenigen für [i] waren sie nach dem Prinzip der Lingualpfeifen konstruiert. Kratzenstein hatte indes zutreffend erkannt, dass die Funktionsweise einer herkömmlichen Zungenpfeife, bei der das Metallblatt auf ein hohles Rohrsegment aufschlägt, nicht für eine adäquate „menschliche“ Stimmerzeugung geeignet ist. Als Folgerung aus seiner o.g. These entwickelte Kratzenstein nun Pfeifen, bei denen die Zunge nicht wie üblich auf der Oberseite des Rohrsegments aufschlägt, sondern sich in diesem frei schwingend bewegen kann. Dieses Konzept wurde aufgrund seiner Komplexität in späteren Sprachsynthesekonzepten nicht mehr aufgegriffen (durchschlagende Lingualpfeifen

¹ Der Medizinprofessor Kratzenstein wurde hier wie auch in anderen Aspekten vom physiologischen Autodidakten Kempelen widerlegt!

sind erheblich diffiziler in der Fertigung als aufschlagende), hatte aber im Orgelbau des 19. und frühen 20. Jahrhunderts aufgrund der „zarten“ Klangfarbe der hervorgebrachten Töne großen Erfolg.

2.3 Dayton Clarence Miller

Erst durch die Möglichkeit Anfang des 20. Jahrhunderts, einzelne Teiltöne eines komplexen Klanges grafisch darzustellen und zu messen, konnte die Struktur der Vokale näher erforscht werden. Als ein Resultat dieser Forschungen entwickelte Dayton Clarence Miller (1866-1941) eine auf Labialpfeifen basierende Vokalsynthese. Miller erkannte, dass die Klanggestalt eines Vokals und seine Unterscheidbarkeit von anderen Vokalen eng mit der harmonischen Zusammensetzung seines Klanges verknüpft ist. Daher stellte er für mehrere Vokale des amerikanischen Englisch Gruppen aus *Labialpfeifen* zusammen, die – kontrolliert durch den Vergleich mit Oszillogrammen „echter“ Vokale – diese nachahmen sollten.

Miller stellte je nach Vokal verschieden große Pfeifengruppen zusammen. Nach Miller waren für [u] sechs Pfeifen (also ein Klang bestehend aus sechs Partialtönen) notwendig, für [a] zehn, für [æ] bereits sechzehn. Die Einstimmung der Grundfrequenz erfolgte über eine Stimmgabel, die übrigen Teiltöne wurden bei ständiger optischer Kontrolle durch das *Phonodeik*, einen Vorläufer des Oszilloskops, beige stimmt [5: 246-250].

2.4 Weitere Konzepte zur Vokalsynthese

Mit den Versuchen Hermann von Helmholtz‘ geht die Epoche der rein mechanischen Vokalsynthesen ihrem Ende entgegen. Er entdeckte, dass der Mundraum je nach gebildetem Vokal die Resonanz eines anderen musikalischen Tones besitzt. Hierauf aufbauend synthetisierte er Vokale durch elektromagnetisch angeregte Stimmgabeln, deren Teiltöne er jeweils charakteristisch filterte [3].

Als Vorstudien zu einer Sprechmaschine in der Tradition Kratzensteins fertigte Sir Richard Paget in den 1920er Jahren Vokaltraktmodelle aus Plastilin an, die er mithilfe von (aufschlagenden) Zungenpfeifen anregte. Ebenfalls erforschte er die Möglichkeit, Vokale durch elektrische Stromkreise zu erzeugen. Zwar hatten all diese Versuche das Konzept einer neuen, „menschenähnlicheren“ Konstruktion der „Vox humana“ zur Folge, zu einer umfangreichen Sprachsynthese kam es indes nie [4].

3 Sprachsynthese im 18. Jahrhundert

3.1 Abbé Mical

Die Konstruktion des Abbé Mical (um 1730-1789/90) steht in mancher Hinsicht noch in der Tradition der früheren vorgeblichen Sprachsynthesen. Einmal mehr handelte es sich um „Sprechende Köpfe“. Auch ist über die Funktionsweise und das Schicksal der Maschine nur wenig bzw. legendenhaftes überliefert. Es ist ein für unsere Zwecke eher unbefriedigender Bericht über eine Prüfung durch die Pariser Akademie der Wissenschaften erhalten [1]. Allem Anschein nach handelte es sich um eine Maschine, die aus zahlreichen, von labialen wie lingualen Orgelpfeifen abgeleiteten Schallerzeugern bestand und durch eine Stiftwalze – ähnlich der einer Spieluhr – angetrieben wurde.

Die Synthesequalität der Maschine wird als mangelhaft beurteilt [1]. Wohl auch deswegen waren die von ihr erzeugten Sätze auf einem Plakat nachlesbar. Der Legende

nach zerstörte Mical sowohl einen früheren Prototyp als auch die 1783 der Akademie vorgestellte Maschine, als sich keinerlei finanzielle Erfolge einstellen wollten [9: 541].

3.2 Erasmus Darwin

Noch weniger bekannt ist über eine Sprechmaschine des Großvaters von Charles Darwin. Erasmus Darwin (1731-1802), einer der berühmtesten englischen Ärzte seiner Zeit, setzte sich mit der menschlichen Sprache intensiv auseinander. Wohl nicht zuletzt zur Überprüfung der eigenen Theorien entwickelte er offenbar auch eine eigene mechanische Sprachsynthese. Diese scheint deutlich vor den anderen hier beschriebenen entstanden zu sein, nämlich um 1766. Das Wenige, das aus zweiter Hand bekannt ist, scheint sie hinsichtlich ihrer Konstruktion und Synthesequalität in die Nähe der Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens zu rücken [10].

3.3 Wolfgang von Kempelen

Um ein vielfaches besser dokumentiert als die vorangehenden Episoden ist die „Sprechmaschine“ Kempelens (1737-1807). Zwar kursiert gerade hier eine Vielzahl von Halbwahrheiten und Legenden. Doch wer sich die Mühe macht, Kempelens eigene Veröffentlichung und einige der bemerkenswert zahlreichen zeitgenössischen Berichte kritisch zu lesen, gelangt zu einem vergleichsweise scharfen Bild.

Kempelen hatte, anders als Kratzenstein oder Mical, den Anspruch, eine universelle Sprachsynthese zu konstruieren und somit die Synthese ganzer Sätze unterschiedlicher Sprachen zu ermöglichen. Zudem sollte eine solche Maschine dazu geeignet sein, sog. Taubstummen artikulatorisch anschaulichen Sprechunterricht geben bzw. ihnen eine Art sprachlicher Prothese zur Verfügung zu stellen zu können.

Durch Kempelens Buch „Mechanismus der menschlichen Sprache“ [11] sind wir nicht nur über dessen – für seine Zeit keineswegs allgemein verbreiteten – Erkenntnisse zur Physiologie des Sprechens unterrichtet, sondern haben auch ein so detailliertes Bild von der Konstruktion seiner „Sprechmaschine“, wie es vor- und nachher von keinem mechanischen Synthesekonzept wieder vorliegt. Als Anregungsmodell wählte Kempelen – wiewohl er um die Unzulänglichkeit der „Vox humana“ wusste – eben eine solche Lingualpfeife, deren Zungenblatt er jedoch aus hauchdünnem Elfenbein fertigte und deren Resonator er durch einen flexiblen Gummitrichter als Repräsentation für den Mundraum ersetzte. Analogien für Zunge oder Zähne fehlten indes völlig.

Trotz dieser Einschränkungen wurde die hohe Synthesequalität und die Breite des Repertoires der Maschine von zahlreichen Zeitgenossen explizit betont. Es scheint sich hierbei allerdings zumindest zum Teil auch um quasi autosuggestive Phänomene zu handeln, da die von Kempelens Zeitgenossen beschriebenen komplexen Äußerungen mit keiner der zahlreichen Repliken realisierbar sind, was aufgrund der konstruktionsbedingten Beschränkungen auch nicht anders zu erwarten ist.

Kempelen war sich der Desiderate seiner Konstruktion bewusst. Er räumte sie im „Mechanismus“ seinen Lesern freimütig ein, verbunden mit der Aufforderung, selbst nach Verbesserungen zu forschen. Bereits einige Zeitgenossen Kempelens bauten denn auch mehr oder weniger weiterentwickelte Repliken der „Sprechmaschine“, so dass bereits Goethe 1797 über einen Nachbau berichten konnte [12: 154].

4 Rezeption und Weiterentwicklung im 19. und 20. Jahrhundert

4.1 Kempelens Epigonen

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts finden sich in der zeitgenössischen Berichterstattung immer wieder Meldungen über neuerfundene „Sprechmaschinen“. Leider teilen sie allesamt das Schicksal ihrer Vorgänger und müssen heute als verschollen gelten. Auch die zeitgenössische Berichterstattung bricht in allen Fällen nach sehr wenigen – zumeist recht vagen – Artikeln ab.

Beispielhaft herausgegriffen seien hier die Berichte über „Dr. Müllers redende Maschine“ von 1788 [13], die „Sprechmaschine“ des Berliner Bildhauers Leonhard Posch (1750-1831) aus den Jahren 1807/1828, bei der es sich offenbar um eine Weiterentwicklung der Kempelenschen Konstruktion handelte [14: 27-28] und die um 1850 offenbar gleich in mehreren Exemplaren gebaute „Sprechmaschine“ des Musikinstrumentenbauers Carl Salomon Warmholz (1778-1854) [15]. Um den Erwerb der beiden Letzteren bemühte man sich offenbar von offizieller preußischer Seite, nichtsdestotrotz verlieren sich auch ihre Spuren alsbald im Dunkel der Zeit.

4.2 Robert Willis und Charles Wheatstone

In den 1830er Jahren griff Robert Willis (1800-1875) die Arbeiten Kratzensteins wieder auf. Mit einer Vielzahl verschiedener Konstruktionen versuchte er die optimalen Bedingungen für eine möglichst authentische Vokalsynthese herauszufinden. Willis experimentierte hierbei insbesondere mit den Konstruktionsparametern des Resonators sowie dessen Material. Auch die Schallquelle selbst wurde intensiv untersucht [16].

Nahezu zeitgleich mit Willis beschäftigte sich auch der britische Physiker Charles Wheatstone (1802-1875) mit mechanischer Sprachsynthese. Als Ergebnis seiner Auseinandersetzung mit Kratzenstein, Kempelen und auch Willis konzipierte er eine eigene, vorgeblich verbesserte Version der Kempelenschen „Sprechmaschine“ [17], die als einzige aller historischen „Sprechmaschinen“ bis heute erhalten ist².

4.3 Joseph Faber und Alexander Graham Bell

Nur wenige Jahre nach den umfassenden (weitgehend) theoretischen Arbeiten von Willis und Wheatstone machte in Deutschland eine weitere Sprechmaschine von sich reden. Die „Euphonia“ des Wiener Joseph Faber³ nahm für sich (ebenfalls) in Anspruch, eine Weiterentwicklung der „Sprechmaschine“ Wolfgang von Kempelens zu sein. Und tatsächlich lassen einige zeitgenössische Berichte den Schluss zu, dass es sich hierbei um eine durchaus gelungene Sprachsynthese gehandelt haben muss, wenngleich andere Berichte von einer höchst mäßigen Synthesequalität sprechen [1: 18]. Faber stattete – wie bereits von Kempelen vorgeschlagen, seine Maschine zur Steuerung mit einer kleinen Klaviatur aus und versah sie mit einer puppenartigen Verkleidung [18: 67-69].

Der amerikanische Physiker Joseph Henry (1797-1887) entwickelte angesichts der „Euphonia“ die Vision, dass durch die Kombination einer solchen Sprechmaschine mit

² Nachdem über ihren Verbleib seit den 1920er Jahren Unklarheit bestand, konnte sie unlängst durch den Erstautor wieder auffindig gemacht werden. Sie befindet sich heute in unvollständigem Zustand in einem Magazin des „Science Museum London“.

³ Sowohl die Lebensdaten als auch nähere Angaben zur Person sind unbekannt. Dudley & Tarnoczy [19: 164] bezeichnen ihn als „certain Professor Joseph Faber of Vienna“.

der Telegrafie-Technologie die Übertragung beispielsweise von Predigten parallel in zahlreiche Kirchen möglich sei [1].

Alexander Graham Bell (1847-1922) lernte durch seinen Vater, den Phonetiker Alexander Melville Bell (1819-1905), als junger Mann sowohl die Kempelen-Replik Charles Wheatstones als auch die „Euphonia“ kennen und entwickelte unter Anleitung seines Vaters eine eigene Variante der „Sprechmaschine“, die offenbar einige Ähnlichkeit mit derjenigen Fabers hatte. Mithilfe einer solchen Vorrichtung sollten Reden auch großen Menschenmassen verständlich gemacht werden, woraus später indirekt das Konzept des Telefons entstand [1: 19].

Zeitgenössischen Berichten über die Vorführung der „Euphonia“ zufolge beschloss diese zumindest auf ihrer England-Tournée 1846 jede Vorführung mit der Hymne „God save the Queen“ [18: 69]. Auffällig hierbei ist allerdings, dass der Maschine in anderen zeitgenössischen Quellen eine äußerst monotone Sprechweise attestiert wird [1].

4.4 Kempelen-Repliken

Eine Weiterentwicklung der Arbeiten sowohl Kempelens als auch Kratzensteins mit konkretem Nutzungsziel stellen die sog. „Stimm-Mechaniken“ dar, die 1899 durch den Mediziner Johannes Kessel (1839-1907) der Öffentlichkeit vorgestellt wurden [20]. Es handelt sich hierbei um einzelne hölzerne Zungenpfeifen, die liegend auf einem passenden kleinen Blasebalg montiert sind und jeweils einen Einzelvokal oder einen unkomplexen Zweisilbler wie „Mama, Papa, Emma, hurra“ zu produzieren imstande sind [21]. Ursprünglich als Instrument der Rehabilitation hochgradig Schwerhöriger gedacht, unterblieb letztlich eine Weiterentwicklung, die zu einer vollends befriedigenden Synthesequalität und damit auch zu einer konkreten Nutzbarkeit hätte führen sollen.

Die Herstellung dieser Stimm-Mechaniken oblag bemerkenswerterweise mit Hugo Hölbe (1844-1931) einem Vertreter der seinerzeit florierenden Thüringer Spielzeugindustrie, die zu jener Zeit unter anderem auch mit dem Berufsstand des „Stimmenmachers“ für die Ausstattung der in Mode kommenden sprechenden Puppen sorgte.

Auch im Verlauf des 20. Jahrhunderts riss das Interesse insbesondere an der inzwischen legendär gewordenen Sprachsynthese Kempelens nicht ab. Der amerikanische Physiker Robert R. Riesz (1903-1974) präsentierte 1937 einen „Mechanical Talker“ mit aus Gummi und Metall konstruiertem, in einzelnen Segmenten variierbarem Vokaltrakt, der auf Kempelens Entwicklung basierte. Die Steuerung geschah über zehn Pumpventile ähnlich denen einer Trompete. Die verständlichste Äußerung soll „Cigarette“ gewesen sein [22: 207-208].

Ab den 1960er Jahren entstanden etwa ein Dutzend Kempelen-Repliken, die bei aller Treue zur Beschreibung im „Mechanismus“ doch eine verblüffende Variationsbreite im Detail aufweisen. Möglichst eng am Original orientieren sich beispielsweise die Rekonstruktionen durch Nikléczy & Oklaszy in Budapest (2001) [23] und die des Erstautors (Saarbrücken 2007/09, Dresden/Paderborn 2009) [24].

Auch aus pädagogischer Sicht scheint Kempelen einigen Reiz zu besitzen: Für das „Musée des musiques populaires de Montluçon“ fertigte Serge Durin 2001 gleich drei Repliken an, die von den Besuchern ausprobiert werden können. Auch die Autoren erreichten mittlerweile mehrere Anfragen von Universitäten und Schulen bezüglich einer „Bauanleitung“ für eine Kempelen-Replik.

Eine technologisch stark weiterentwickelte mechanische Synthese stellen die anthropomorphen Roboter der japanischen Forschergruppe um Fukui & Ishikawa [25] dar, deren

produktive Qualität allerdings in den bereits durch Kempelen beschrittenen engen Grenzen bleibt.

5 Zusammenfassung

Die Idee, Sprache auf rein mechanischem Wege zu erzeugen, hat bis heute ihre Faszination bewahrt, ungeachtet allen Wissens über die hochkomplexen Mechanismen der menschlichen Sprachproduktion. Gerade angesichts der über mehrere Jahrhunderte hinweg immer wieder aufflackernden Begeisterung für die mechanische Realisierung von synthetischer Sprache, wie sie der unten stehende Zeitstrahl verdeutlicht, und vor dem Hintergrund der ebenso jahrhundertelangen Folge mehr oder weniger gescheiterter oder zumindest nicht vollends befriedigender Konstruktionen und Konzepte muss diese Tatsache als zumindest bemerkenswert bezeichnet werden.

Zugleich stellt eben diese Chronologie ehrgeiziger Versuche zwischen anatomischen Studien und genialischer Ingenieurskunst ein spannendes Stück lebendiger Wissenschaftsgeschichte dar, bei dem es nicht immer gelang, die Balance zwischen spektakulären Kabinettstückchen und seriöser Grundlagenforschung zu halten. Zweifelsohne kann jedoch für alle hier vorgestellten Konzepte festgestellt werden, dass es stets die kreative Kraft des dauerhaften Verstehen-Wollens war, die zu immer neuen Ansätzen führte und weniger die Suche nach kurzlebigen populärwissenschaftlichen Attraktionen.

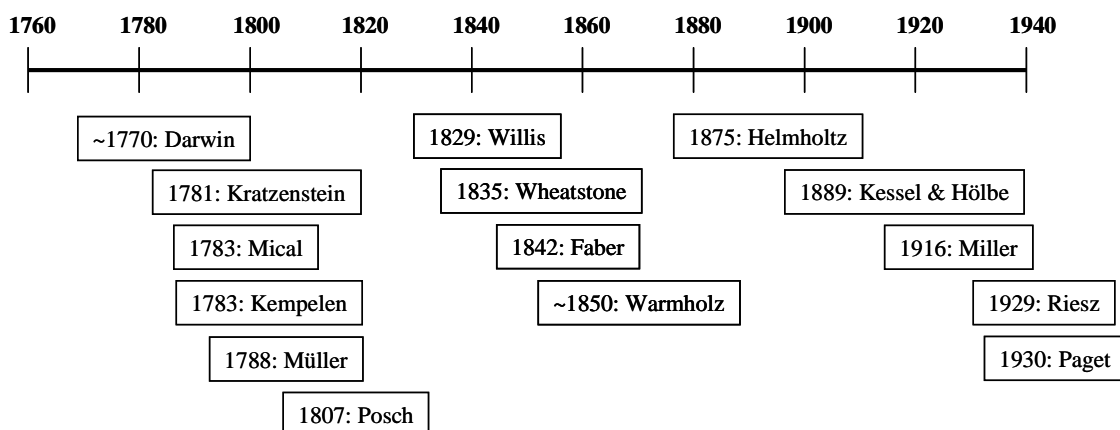


Abbildung 1 - Zeitstrahl der wichtigsten Stationen der mechanischen Sprachsynthese zwischen 1770 und 1930.

Literatur

- [1] Hanskins, Th. L. & R. J. Silverman. 1995. Instruments and the Imagination. Princeton: University Press.
- [2] Rm.⁴ 1784. Windisch, K. G. v.: Briefe über den Schachspieler des Hrn. von Kempelen: Rezension. Allgemeine deutsche Bibliothek, Bd. 58 (1), 275-280.
- [3] H. v. Helmholtz. 1896. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: Vieweg.
- [4] R. Paget. 1930. Human Speech. London: Toutledge & Kegal.
- [5] D. C. Miller. 1922. The Science of Musical Sounds. London: McMillan.
- [6] L. Euler. 1761. Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique & de philosophie. 137. Brief vom 16. Juni 1761.
- [7] Chr. Mahrenholz. 1968. Die Orgelregister: ihre Geschichte und ihr Bau. Kassel: Bärenreiter Verlag.

⁴ Der hinter dem Autorenkürzel „Rm“ stehende Verfasser ist nicht namentlich bekannt.

- [8] Chr. G. Kratzenstein 1781. Tentamen Resolvendi Problema ab Akademia Scientiarum Imperiali Petropolitana ad Annum 1780 Publicae Propositum. St. Petersburg.
- [9] J. Gessinger. 1994. Auge und Ohr – Studien zur Erforschung der Sprache am Menschen. Berlin: de Gruyter.
- [10] Ph. J. B. Jackson. 2005. Mama and Papa: The Ancestors of Modern-day Speech. Burlington: Ashgate.
- [11] W. von Kempelen. 1791. Wolfgang von Kempelen Mechanismus der menschlichen Sprache nebst Beschreibung seiner sprechenden Maschine. Wien: J.V. Degen. Faksimile-Nachdruck von 1970, Stuttgart: Frommann-Holzboog.
- [12] J. W. von Goethe 1893. Goethes Werke, herausgegeben im Auftrage der Großherzogin Sophie von Sachsen. IV. Abtheilung, 12. Band.
- [13] Anonymus. 1788. Ueber Dr. Muellers redende Maschine und über redende Maschinen überhaupt. Nürnberg: Grattenhauer.
- [14] W. Niemann. 1920. Sprechende Figuren – Ein Beitrag zur Vorgeschichte des Phonographen. Geschichtsblätter für Technik und Industrie. Bd. VII.
- [15] Anonymus. 1900. Carl S. Warmholz, ein vergessener Meister und Erfinder. Zeitschrift für Instrumentenbau, Bd. 20, 457-459.
- [16] R. Willis. 1832. Ueber Vocaltöne und Zungenpfeifen. Annalen der Physik und Chemie, 397-437.
- [17] Ch. Wheatstone. 1879. Reed Organ-pipes, Speaking-machines etc. The scientific Papers of Sir Charles Wheatstone D.C.L, F.R.S. London: Taylor & Francis.
- [18] J. Hollingshead. 1895. My Lifetime. London: S. Low.
- [19] H. Dudley, T. H. Tarnoczy. 1950. The Speaking Machine of Wolfgang von Kempelen. Journal of the Acoustical Society of America 22 (2), 151-166.
- [20] J. Kessel. 1900. Demonstration von Apparaten zur Erzeugung künstlicher Laute. Verhandlungen der Versammlung Deutscher Ohrenärzte und Taubstummenlehrer in München am 16. September 1899, 28-29.
- [21] R. Hoffmann, D. Mehnert. 2007. Die Kesselschen Stimm-Mechaniken in der historischen akustisch-phonetischen Sammlung der TU Dresden. Tagungsband DAGA, 401-402.
- [22] J. L. Flanagan. 1972. Speech Analysis, Synthesis and Perception. New York: Springer.
- [23] P. Nikléczy, G. Olaszy. 2003. A reconstruction of Farkas Kempelen's speaking machine. Proc. Eurospeech 2003 – Geneva, 2453-2456.
- [24] F. Brackhane 2011. Die Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens – Von den Originalen bis zu den Nachbauten. Phonus 16 – Berichte zur Phonetik, Universität des Saarlandes, 49-148.
- [25] K. Fukui, Y. Ishikawa, E. Shintaku, K. Ohno, N. Sakakibara, A. Takanishi, M. Honda. 2008. Vocal cord model to control various voices for anthropomorphic talking robot. Proceedings of the 8th International Speech Production Seminar (ISSP), Straßburg, 341-344.